

## NOTA TECNICA

# HETEROSIS Y APTITUD COMBINATORIA, PARA RENDIMIENTO Y CALIDAD FORRAJERA, EN POBLACIONES DE MAIZ <sup>1</sup>

*Luis Latournerie <sup>2</sup>, Sergio Rodríguez <sup>3</sup>, Humberto de León <sup>3</sup>, Emilio Padrón <sup>2</sup>*

### RESUMEN

**Heterosis y aptitud combinatoria, para rendimiento y calidad forrajera, en poblaciones de maíz.** Se evaluaron ocho poblaciones de maíz forrajero y sus cruizas dialélicas en dos localidades (Celaya, Gto. y Gómez Palacio, Dgo. México en 1993), con el objetivo de conocer el comportamiento heterótico de los materiales e identificar las mejores poblaciones, tomando en cuenta el rendimiento y la calidad del forraje. La población Tuxpeño Bajío presentó el mejor efecto de ACG a través de localidades para rendimiento del forraje. Esta población al cruzarse con el Sintético Forrajero manifestó el mejor potencial forrajero (30,82 t/ha) y la mejor heterosis (14,6%), por lo que se considera que estas dos poblaciones son las más adecuadas para iniciar un programa de selección recíproca recurrente y para incrementar la producción de forraje. Por otro lado, el rendimiento de materia seca y proteína no están correlacionados (0,06); además se observó muy poca variación para la proteína entre las poblaciones.

### ABSTRACT

**Heterosis and combinatory aptitudes for yielding and forage quality in maize populations.** Twenty-eight crosses among eight populations of maize forage were evaluated in two environments (Celaya, Gto. y Gómez Palacios, Dgo. México) according with yield and quality forage. This study was carry out to determine the heterotic patterns of the populations and to identify the better populations. Sintético Forrajero and Tuxpeño Bajío populations were the best heterotic pattern, which showed the greater diversity for all traits studied. The highest forage yield was showed for cross between this two populations, 30.85 t/ha and 14.6% of heterosis. In addition, the highest general combining ability effect by forage yield over environments was of the Tuxpeño Bajío population. This suggests that Sintético Forrajero and Tuxpeño Bajío populations are the best option to begin a program of recurrent reciprocal selection. The yield of dry matter and protein was not correlated (0.06); besides, protein had very little variation between maize forage populations.

---

### INTRODUCCION

En México la demanda de forraje aumenta considerablemente conforme pasan los años; una alternativa que se presenta es el maíz como elemento forrajero, el cual tiene algunas ventajas como son el cultivo establecido que ocupa el terreno durante una corta temporada y aprovecha el agua de riego en forma eficiente, con facilidad para ensilarse. El forraje obtenido generalmente es ensilado para utilizarse en la época crítica.

Una opción para el desarrollo de las cuencas lecheras es incrementar la producción y mejorar la calidad del forraje de maíz mediante el mejoramiento genético y la introducción de genotipos que se adapten bien a las condiciones climáticas de esas regiones.

Dada la importancia que ha adquirido el maíz como forraje, el Instituto Mexicano del Maíz de la UAAAN inició un programa de mejoramiento a largo plazo para obtener materiales forrajeros. En el presente trabajo se evaluaron las cruizas dialélicas de ocho

---

<sup>1</sup> Presentado en la XLI Reunión Anual del PCCMCA en Honduras, América Central. 26 de marzo - 1 de abril, 1995.

<sup>2</sup> Tesis de maestría en Fitomejoramiento en la UAAAN. Saltillo, Coah. México.

<sup>3</sup> UAAAN. Saltillo, Coah. México.

<sup>4</sup> Departamento de Estadística y Cálculo en la UAAAN. Saltillo, Coah. México.

poblaciones de maíz con potencial forrajero, con los siguientes objetivos: (i) conocer el comportamiento heteróticos de los materiales evaluados e (ii) identificar las poblaciones superiores con base a sus patrones heteróticos.

## MATERIALES Y METODOS

Se formó el dialélico con ocho poblaciones en Tepalcingo, Mor. Las cruizas y sus poblaciones se evaluaron en Celaya, Gto. y Gómez Palacios, Dgo. en 1993. Las poblaciones son:

- P1= Población criollos del Bajío (PCB).
- P2= Across 8043.
- P3= PPMG.
- P4= Pool 24 Co.
- P5= Sintético trópico seco.
- P6= Van-542.
- P7= Tuxpeño Bajío.
- P8= Sintético forrajero.

Los experimentos se condujeron bajo un diseño de bloques al azar con cuatro repeticiones y con dos surcos por parcela, la longitud de los surcos fue de 4 m con una densidad de 80,000 plantas/ha. Las características que se midieron son rendimiento (peso seco), altura de planta y mazorca. Para la cosecha se pesaron 10 plantas con competencia completa, tomadas al azar en cada parcela; cuatro de estas se picaron y se tomaron muestras para ensilar y determinar su peso seco, determinándose posteriormente la concentración de grasa y proteína (porcentaje).

El diseño genético empleado fue el método IV de Griffing (1956), para el cálculo del combinado se basó en los procedimientos publicados por Singh (1973). La fuente de entradas se particionó ortogonalmente en cruizas, progenitores y progenitor vs cruizas. La variación entre cruizas posteriormente se particionó en ACE y ACG. A estos efectos se les probó su significancia mediante una prueba de t. El efecto de heterosis se calculó con base al mejor progenitor.

## RESULTADOS Y DISCUSION

El análisis combinado (Cuadro 1) muestra que para rendimiento las fuentes de variación: localidad, entradas, entradas x localidad, cruizas, progenitores vs cruizas, progenitores x loc. y ACE son altamente significativas. La mayor contribución a la suma de cuadrados para rendimiento de forraje se debe a la

**Cuadro 1.** Cuadrado medio y su significancia para el dialélico evaluado en dos localidades.

F.V.	G.L.	Rdto.	Grasa	Proteína
Localidad	1	4276 **	67,1 **	275 **/
Entradas	35	23,7 **	4,1 **	1,6 **
Cruzas	27	22,9 **	2,9 **	1,5 **
ACG	7	24,8*	5,6 **	2,4 **
ACE	20	22,3 **	1,9 **	1,2 **
Prog.	7	29,9*	9,4 **	0,3
P vs C	1	60,2*	0,8	12,8 **
Ent. x Loc	35	36,6 **	2,6 **	1,2 **
Cruz x L	27	15,8	1,7 **	1,2 **
ACG x L	7	15,7	2,9 **	1,4 **
ACE x L	20	15,8	1,3*	1,1 **
Prog x L	7	97,4 **	0,8	1,1 **
P vs C x L	1	171 **	40,2 **	1,9
Error	210	11,2	0,8	0,4
C.V. (%)		12,58	8,43	3,53

\*, \*\* Significativo al nivel 0,05 y 0,01 de probabilidad.

fuerza de variación de ACE (71,94%) y solamente 28,06% de ACG; es decir, el genotipo observado en las cruizas se debe en su mayor parte a efectos no aditivos (dominancia y epistasis). Estos resultados se hacen más notables por la variación significativa de progenitores vs cruizas, la cual es una medida de la heterosis promedio (Hallauer y Miranda, 1988), señalando la importancia de los efectos no aditivos en la determinación del rendimiento del germoplasma.

El análisis combinado para la concentración de grasa mostró una alta significancia para todas las fuentes de variación, con excepción de ACE x Loc. que presentó significancia, y Prog. vs Cruizas y Prog. x Loc. que no manifestó significancia. Para proteína, todas las fuentes de variación fueron altamente significativas, con excepción de progenitores y prog vs cruizas x Loc. que no presentó significancia. Aún cuando se encontró alta significancia para progenitores vs cruizas, para ambos caracteres, se observa que los efectos de ACG tienen mayor influencia ambos sobre ambos caracteres, indicando claramente la importancia de los efectos aditivos en controlar grasa y proteína en los materiales.

La concentración de medias (Cuadro 2) de las características evaluadas muestran que la cruz 7x8 presentó el mejor rendimiento medio (30,846 t/ha.) con el mejor valor de heterosis (14,6%); la heterosis manifestada en la cruz de las dos poblaciones

**Cuadro 2.** Comportamiento medio de ocho poblaciones y sus cruzas evaluadas en dos localidades. México. 1993.

Cruzas	t/ha	Heter. %	Grasa %	Proteína %
1 x 2	26,02	-6,6	10,5	17,5
1 x 3	26,81	-9,7	10,9	17,1
1 x 4	26,70	-4,1	11,2	16,8
1 x 5	26,25	-5,7	11,4	16,7
1 x 6	27,72	-0,5	11,8	17,0
1 x 7	29,46	5,8	10,2	17,4
1 x 8	27,53	-1,1	10,7	16,4
2 x 3	28,22	-5,0	9,8	17,3
2 x 4	25,29	-7,7	10,1	17,4
2 x 5	26,97	6,6	10,4	16,4
2 x 6	25,40	-6,4	10,3	17,3
2 x 7	25,14	-3,4	9,9	17,2
2 x 8	25,27	-6,1	9,5	16,2
3 x 4	26,13	-12,0	10,8	17,3
3 x 5	24,51	-17,5	11,7	16,4
3 x 6	29,47	-0,8	9,9	17,6
3 x 7	24,92	-16,1	9,8	17,3
3 x 8	27,86	-6,2	10,9	17,8
4 x 5	25,46	-7,1	9,9	17,2
4 x 6	24,49	-10,7	10,5	17,8
4 x 7	28,77	4,9	10,0	17,1
4 x 8	24,65	-10,1	10,8	16,9
5 x 6	26,41	-2,6	10,0	16,5
5 x 7	26,89	3,3	10,3	17,3
5 x 8	27,49	2,2	11,4	17,0
6 x 7	28,33	4,4	10,5	17,6
6 x 8	24,67	-9,1	10,8	16,6
7 x 8	30,85	14,6	10,7	16,8
<b>Media</b>	26,70	-	10,5	17,1
<b>Progenitores</b>				
P1	27,85	-	11,6	17,7
P2	23,14	-	8,3	17,7
P3	29,71	-	10,5	17,5
P4	27,42	-	9,9	17,6
P5	25,30	-	10,0	17,9
P6	27,13	-	10,1	17,8
P7	26,02	-	10,4	17,3
P8	26,91	-	11,8	17,3
<b>Media</b>	26,68		10,4	17,6

conduce a la conclusión de que las variedades parentales son genéticamente diferentes, comparadas con las variedades que manifiestan poca o nula heterosis (Ordás, 1991; Mungoma y Pollak, 1988 y Moll *et al.* 1962). Las cruzas que también presentaron heterosis aceptables

son 2x5 con 6,6%, 1x7 con 5,8% 4x7 con 4,9% de heterosis.

La cruz 3x2 tuvo el segundo mejor rendimiento medio (29,474 ton/ha) con heterosis negativa (-0,8%), seguido de la cruz 1x7 con 29,462 t/ha. El progenitor P3 que presentó la mejor media (29,71 t/ha), presentó en cruzas heterosis en su totalidad negativas que van de 17,5 a -0,85 %. En general, se obtuvieron datos de heterosis muy bajos; 7 de las 28 cruzas solamente registraron heterosis positiva, de las cuales 6 estuvieron con valores inferiores al 10% de heterosis. Por otro lado, cuatro de las 7 cruzas con el progenitor (P7) presentaron heterosis positiva, aún cuando este progenitor presentó un rendimiento medio, ligeramente inferior a la media; sin embargo, al cruzarse con P8 presenta rendimiento muy superior al de los padres. Lo mismo sucede en sus efectos de ACG, por lo cual estas poblaciones pueden ser de importancia en un programa de selección recíproca recurrente para mejorar el rendimiento del forraje de maíz.

Los progenitores P3 y P6 tienen rendimientos medios muy superiores a la media, incluso el P3 presenta el mejor rendimiento; sin embargo, al cruzarse estos no superan al P3, pero en forma general tienen buen rendimiento, aunque presentan heterosis negativa, para ACE presentó el mejor efecto (10,7). Al respecto, Han *et al.* (1991) menciona que la poca heterosis entre las cruzas de dos poblaciones puede ser debida a la carencia de diversidad genética entre las dos poblaciones o efectos cancelados de diferentes loci y alelos en combinación entre las dos poblaciones. Cress (1966) mencionó que la diversidad genética entre dos poblaciones está relacionada con la heterosis, pero una carencia de heterosis no necesariamente resulta de una carencia de diversidad genética.

Las cruzas 1x6 y 3x5 presentaron los mejores efectos para contenido de grasa, mientras que los mejores comportamientos medios los presentaron P8 (11,81%) y P1 (11,63%).

Las cruzas 3x8, 4x6 y 6x7 con 17,8, 17,8 y 17,6% de proteína son las mejores. Estas no concuerdan con las mejores para rendimiento de forraje, lo cual se puede interpretar como una falta de correlación entre estas características ( $r=0,06$ ). Por otro lado, se observa muy poca variación de la concentración de proteína entre las poblaciones. Estas se distribuyen entre el rango de 17,3 a 17,9%, aún cuando el valor nutritivo del forraje de maíz es principalmente asociado con fibras y factores de digestibilidad, la concentración de

proteína o N<sub>2</sub> en la planta pueden influenciar la calidad del forraje de maíz (Cox *et al.* 1994).

Las poblaciones en general presentaron poca variación entre sí para proteína; sus comportamientos se distribuyeron entre un rango de 17,30 a 17,86% .

La población Tuxpeño Bajío (P7) presentó el mejor efecto de ACG (Figura 1) para rendimiento de forraje en las dos localidades evaluadas y en forma combinada, indicando su buena aptitud combinatoria general (ACG). También la población Criollos del Bajío (P1) tuvo un buen comportamiento de ACG.

La población PPMG (Figura.2) presentó el mejor rendimiento promedio de forraje *per se* (29,71 t/ha) pero su rendimiento promedio en cruzas fue relativamente bajo (26,85 t/ha). Un comportamiento similar se observa en la población Criollos del Bajío, sin embargo, en cruzas presentó el segundo mejor rendimiento de forraje sin superar al comportamiento *per se* del progenitor.

Por otro lado, la población Tuxpeño Bajío con el mejor rendimiento para forraje en cruzas (27,7 t/ha), su comportamiento *per se* fue bajo (26,02 t/ha). En general se observa que las poblaciones con buen rendimiento *per se* para forraje no necesariamente presentan buen comportamiento en cruzas.

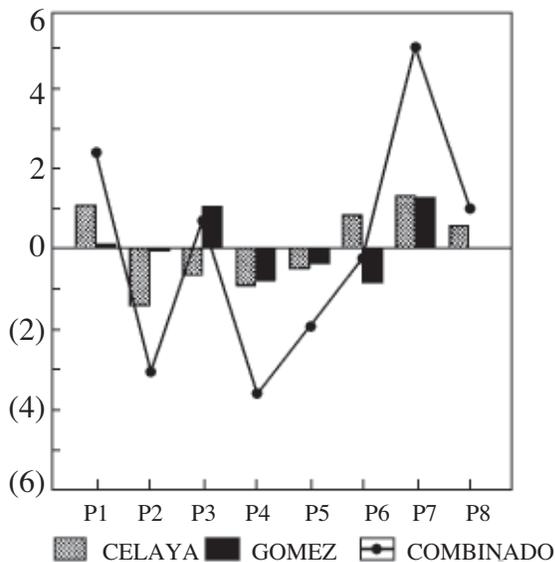


Fig. 1. Efectos de ACG para rendimiento.

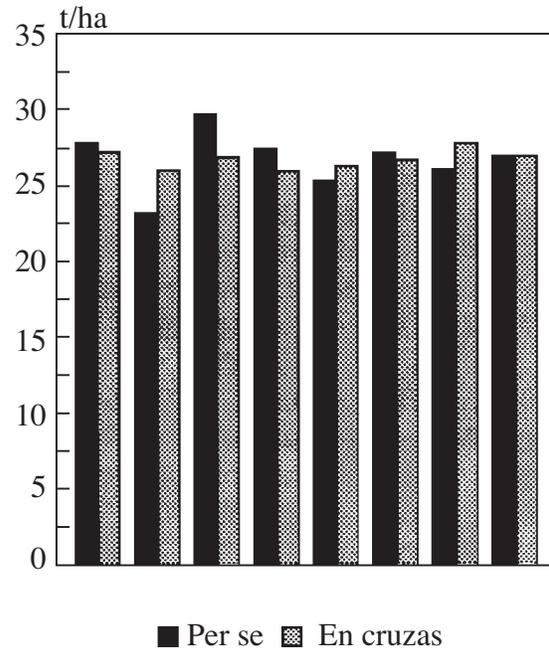


Fig. 2. Comportamiento medio de las poblaciones.

Las cruzas 3x6 y 7x8 son las que presentaron los mejores efectos de ACE (Cuadro 3) para rendimiento con alta significancia (10,70\*\* y 10,68\*\* t/ha, respectivamente), Las cruzas 2x3, 2x5, 4x7, 5x8 y 1x7 también presentaron valores de ACE altamente significativos para rendimiento. Las cruzas 3x5y 1x6 presentaron los mejores efectos de ACE para grasa, mientras que para proteína las cruzas que presentaron mejor efecto de ACE son 3x8, 5x8 y 1x2 con 3,2, 2,2 y 2,2% respectivamente.

### CONCLUSIONES

- La cruce Tuxpeño Bajío x Sintético Forrajero (7x8) presentó el mejor potencial forrajero (30,85 t/ha) con 14,6% de heterosis y efecto de ACE altamente significativo (10,6).
- Las poblaciones Tuxpeño Bajío y Sintético Forrajero son las más adecuadas para iniciar un programa de selección recíproca recurrente.

### LITERATURA CITADA

CRESS, C.E. 1966. Heterosis of the hybrid related to gene frequency differences between two populations. Genetics 53:269-274.

**Cuadro 3.** Efectos de ACE para las características medidas en dos localidades. México. 1993.

Cruzas	t/ha	Grasa %	Proteína %
1 x 2	-2,0	0,0	2,2 **
1 x 3	-2,6 *	-0,8 **	-0,3
1 x 4	1,2	0,8 **	-1,3 **
1 x 5	-2,2	0,6 *	0,2
1 x 6	1,9	3,1 **	-0,5 *
1 x 7	3,6 **	-1,7 **	0,9 **
1 x 8	0,0	-1,9 **	-1,1 **
2 x 3	8,4 **	-0,7 *	0,1
2 x 4	1,0	0,6 *	0,8 **
2 x 5	6,1 **	0,5	-1,3 **
2 x 6	-1,8	1,2 **	0,5 *
2 x 7	-8,1 **	1,1 **	-0,2
2 x 8	-3,6 **	-2,7 **	-2,2 **
3 x 4	0,6	1,3 **	-0,6 *
3 x 5	-7,4 **	3,6 **	-2,5 **
3 x 6	10,7 **	-2,6 **	0,4
3 x 7	-12,7 **	-1,5 **	-0,7 **
3 x 8	3,0 *	0,8 *	3,2 **
4 x 5	0,6	-3,0 **	1,1 **
4 x 6	-4,9 **	0,0	1,7 **
4 x 7	6,9 **	-0,2	-1,4 **
4 x 8	-5,5 **	0,4	-0,1
5 x 6	1,0	-3,1 **	-1,5 **
5 x 7	-2,26	-0,4	1,3 **
5 x 8	4,1 **	1,7 **	2,2 **
6 x 7	1,83	1,2 **	0,7 **
6 x 8	-8,7 **	0,2	-1,3 **
7 x 8	10,6 **	1,5 **	-0,69 **

\* , \* Diferente de cero al 0,05 y 0,01 nivel de probabilidad.

COX, W.J.; CHERNEY, J.H.; CHERNEY, D.J.R.; PARDEE, W.D. 1994. Screening tropical maize population to obtain semiexotic forage hybrids. *Crop. Sci.* 34: 277-282.

GRIFFING, B. 1956. Concept of general and specific combining ability in relation to diallel crossing systems. *Austr. J. Biol. Sci.* 9:463-493.

HALLAUER, A.R. Y J.B. MIRANDA. 1988. Quantitative genetics in maize breeding. Edit 2 ed. Iowa State University Press/Ames. p. 52-64.

HAN, G. C.; VASAL, S.K.; BECK, D.L.; ELIAS, E. 1991. Combining ability of inbred lines derived from CIMMYT maize (*Zea mays* L.) germoplasm. *Mydica* 36:57-64.

MOLL, R.H.; SALHUANA, W.S.; ROBINSON, H. F. 1962. Heterosis y genetic diversity in variety crosses of maize. *Crop Sci.* 2(3):197-198.

MUNGOMA, C.; L.M. POLLAK. 1988. Heterotic patterns among ten corn belt and exotic maize populations. *Crop Sci.* 28:500- 504.

ORDAS, A. 1991. Heterosis in crosses between American and Spanish population of maize. *Crop Sci.* 31:931-935.

SINGH, D. 1973. Diallel analysis for combining ability over several environments. II. The Indian J. of Genetics and Plant Breeding. 33(3):469-481.